



УДК 621.436

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИКЛА МИЛЛЕРА НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЯ (12ЧН 18,5/21,5) С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ****EVALUATION OF THE EFFECT OF MILLER CYCLE ON THE MAIN PARAMETERS OF A DIESEL ENGINE USING MATHEMATICAL MODELING**

**Мами Эрве**, магистрант каф. «Турбины и Двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mamyherve@yahoo.fr, Тел.: +7(922)194-33-27

**Плотников Леонид Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: leonplot@mail.ru. Тел.: +7(922)291-64-50

**Mamy Herve**, master student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mamyherve@yahoo.fr, Тел.: +7(922)194-33-27

**Leonid V. Plotnikov**, Candidate of technical Sc., Associate Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: leonplot@mail.ru. Ph.: +7(922)291-64-50

**Аннотация:** В данной статье на основе численного моделирования было исследовано влияние углов закрытия впускных клапанов на технико-экономические и экологические показатели дизельного двигателя. Исследование выполнено в программном комплексе Дизель-РК, разработанном в МГТУ имени Н. Э. Баумана. В качестве базового двигателя для исследования был выбран дизель 12ДМ-185. Показано, что применение цикла Миллера (раннее закрытие клапана) оказывает существенное влияние на показатели дизеля. Установлено, что оптимальные углы закрытия впускных клапанов для исследуемого дизеля при использовании цикла Миллера составляют 25 градусов до НМТ.

**Abstract:** The influence of the angles of closure of the intake valves on the technical, economic and ecological parameters of a diesel engine was studied by numerical simulation. The study was carried out in the program complex Diesel-RK developed by the MGTU named after N. E. Bauman. Diesel 12DM-185 was chosen as the base engine for the study. It is shown that application of the Miller cycle (early valve closing) has a significant impact on the performance of diesel. It is established that the optimum closing angles of the intake valves for the diesel when using the Miller cycle is 25 degrees before BDC.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, фазы газораспределения, цикл Миллера, цикл Аткинсона, удельный расход топлива, мощность, концентрация влажных NO<sub>x</sub>, экологичность.

**Key words:** internal combustion engine, timing, Miller's cycle, Atkinson's cycle, specific fuel consumption, power output, concentration of wet NO<sub>x</sub>, ecology.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основные требования к двигателю внутреннего сгорания (ДВС) состоят в повышении их эффективности и экологичности. Выполнение этих требований заключается в поиске оптимального сочетания наиболее значимых факторов, обеспечивающих приемлемый уровень технико-экономических и экологических показателей. Сегодня одним из главных нормируемых параметров по токсичности отработавших газов является содержание оксидов азота NO<sub>x</sub> [1]. Известно [2], что для получения низких удельных расходов топлива и высоких значений КПД дизелей необходимо повышать максимальную температуру цикла. Однако ее повышение приводит к увеличению эмиссии

оксидов азота NO<sub>x</sub>. Одним из возможных способов улучшения экологических и экономических показателей дизелей является применение цикла Миллера. Это позволяет снизить максимальную температуру цикла и продлить процесс расширения с соответствующим снижением эмиссии NO<sub>x</sub> и удельного расхода топлива [3].

В данной работе на основе численного моделирования были определены оптимальные углы закрытия впускных клапанов, при которых удельный расход топлива  $g_e$  и концентрация оксидов азота NO<sub>x</sub> являются минимальными.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве базового двигателя-прототипа для исследования был выбран дизель 12ЧН 18,5/21,5

(12ДМ-185) производства ООО «Уральский дизель-моторный завод». Этот двигатель предназначен для работы в составе дизель-генераторной установки тепловоза. 12ДМ-185 имеет следующие параметры: диаметр цилиндра – 185 мм, ход поршня – 215 мм, номинальная мощность – 1500 кВт при частоте вращения коленчатого вала – 1500 мин<sup>-1</sup>, удельный расход топлива – 205 г/(кВт·ч), выбросы NOx при номинальном режиме работы – 3412,8 ppm.

Математическое моделирование проводилось на основе программного комплекса Дизель-РК, разработанного в МГТУ имени Н. Э. Баумана.

Моделирование выполнялось для четырех режимов работы: 1000, 1250, 1500 и 1750 мин<sup>-1</sup>.

В ходе исследования определялись оптимальные углы закрытия впускных клапанов дизеля. В случае использования цикла Миллера углы закрытия клапанов составляли 15, 25, 35, 45 и 55 градусов до нижней мертвой точки (НМТ). А в случае применения цикла Аткинсона (традиционный цикл поршневых ДВС) углы закрытия впускных клапанов были 35, 45, 55, 65 и 75 после НМТ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проведенное исследование показало, что применение цикла Миллера оказывает существенное влияние на рабочие показатели ДВС.

Из рис. 1 видно, что, например, на номинальном режиме работы при использовании цикла Миллера мощность двигателя и удельный эффективный расход топлива снижаются на 21,5 % и 1,81 %, соответственно (угол закрытия впускных клапанов – 25 градусов до НМТ). Удельный эффективный расход  $g_e$  снижается вследствие того, что при той же фактической (геометрической) степени сжатия как в цикле Аткинсона, в случае применения цикла Миллера двигатель имеет значительно большую степень расширения. Это дает возможность более полно использовать энергию расширяющихся в цилиндре газов что, собственно, и повышает тепловую эффективность двигателя, обеспечивая его высокую экономичность [2].

При этом, коэффициент наполнения уменьшается на 17,4 %, а коэффициент остаточных газов увеличивается на 33,5 % (рис. 2) по сравнению с традиционным циклом Дизеля. Уменьшение наполнения при использовании цикла Миллера связано с тем, что в этом случае происходит раннее закрытие впускного клапана (еще до НМТ), что уменьшает время на заполнение цилиндра воздухом. Также в случае цикла Миллера отсутствует период дозарядки (после НМТ), который свойственен традиционным двигателям. Все это приводит к снижению коэффициента наполнения и для исследуемого двигателя.

Существенно влияние цикла Миллера и на экологические показатели. В частности, выбросы CO<sub>2</sub> возрастают на 4,71 %, но концентрации NOx снижается в 9 раз по сравнению с двигателем-прототипом (рис. 3). Снижение количества вредных NOx при применении цикла Миллера связано с разбавлением рабочей смеси нейтральными продуктами сгорания, которые замедляют реакции окисления топлива, что приводит к уменьшению максимальной температуры цикла [2].

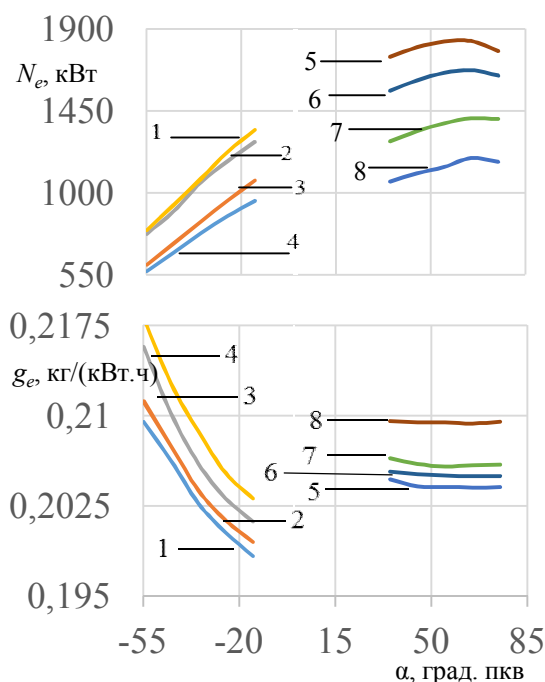


Рис. 1. Зависимости мощности  $N_e$  и удельного расхода топлива  $g_e$  от угла закрытия впускных клапанов для разных частот вращения коленчатого вала: цикл Миллера 1-1750 мин<sup>-1</sup>; 2-1500 мин<sup>-1</sup>; 3-1250 мин<sup>-1</sup>; 4-1000 мин<sup>-1</sup>; цикл Аткинсона 5-1750 мин<sup>-1</sup>; 6-1500 мин<sup>-1</sup>; 7-1250 мин<sup>-1</sup>; 8-1000 мин<sup>-1</sup>

Исследование цикла Аткинсона (традиционный цикл для поршневых ДВС) показало, что, например, при угле закрытия впускных клапанов за 65 градусов после НМТ мощность дизеля увеличивается на 11,6 %, а удельный эффективный расход топлива остается практически таким же, как и для базового двигателя-прототипа. Мощность дизеля начинает существенно снижаться при закрытии впускных клапанов ранее 45 градусов до НМТ. Это связано с ухудшением наполнения цилиндра двигателя, вследствие уменьшения периода дозарядки. Установлено, что мощность дизеля с циклом Миллера увеличивается при увеличении частоты вращения коленчатого вала, оставаясь меньше номинальной мощности двигателя-прототипа. При этом удельный эффективный расход и выбросы

вредных веществ снижаются по сравнению дизелем с традиционным циклом (циклом Аткинсона).

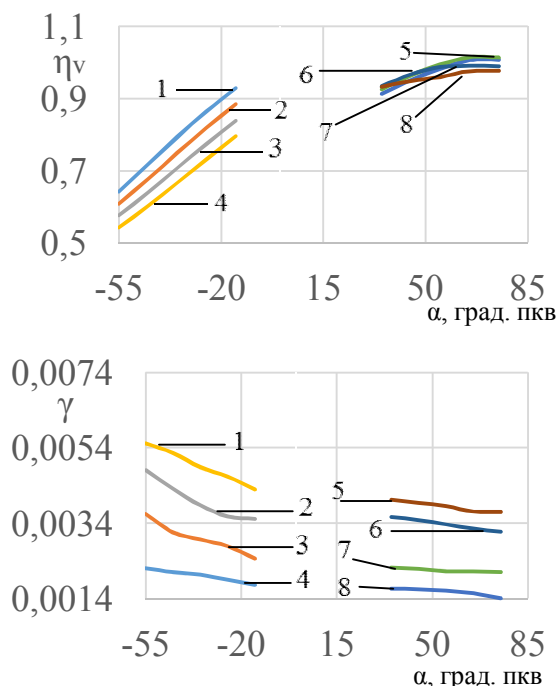


Рис. 2. Зависимости коэффициента наполнения  $\eta_v$  и коэффициента остаточных газов  $\gamma$  от угла закрытия впускных клапанов для разных частот вращения коленвала: цикл Миллера 1-1750 мин<sup>-1</sup>; 2-1500 мин<sup>-1</sup>; 3-1250 мин<sup>-1</sup>; 4-1000 мин<sup>-1</sup>; цикл Аткинсона 5-1750 мин<sup>-1</sup>; 6-1500 мин<sup>-1</sup>; 7-1250 мин<sup>-1</sup>; 8-1000 мин<sup>-1</sup>

Следует отметить, что существует перспективный способ улучшения экономических и экологических показателей, который заключается в применении цикла Аткинсона-Миллера [4]. Это позволит изменять эффективную степень сжатия за счет регулирования фаз закрытия впускных клапанов, что приведет к улучшению топливной экономичности на 10-30 %, значительному сокращению выбросов CO, CH и NOx с отработавшими газами по сравнению с традиционными двигателями. Однако при этом произойдет снижение мощности на 10-25 % [4].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- применение цикла Миллера оказывает существенное влияние на технико-экономические и экологические показатели дизеля;
- оптимальные углы закрытия впускных клапанов для дизеля 12ДМ-185 при использовании цикла Миллера составляют 25 градусов до НМТ

(снижение  $g_e$  до 2 %, уменьшение NOx в 9 раз, падение  $N_e$  до 20 %);

- для традиционного цикла дизелей оптимальными углами являются 65 градусов после НМТ (рост  $N_e$  до 12 % при сохранении удельного эффективного расхода топлива).

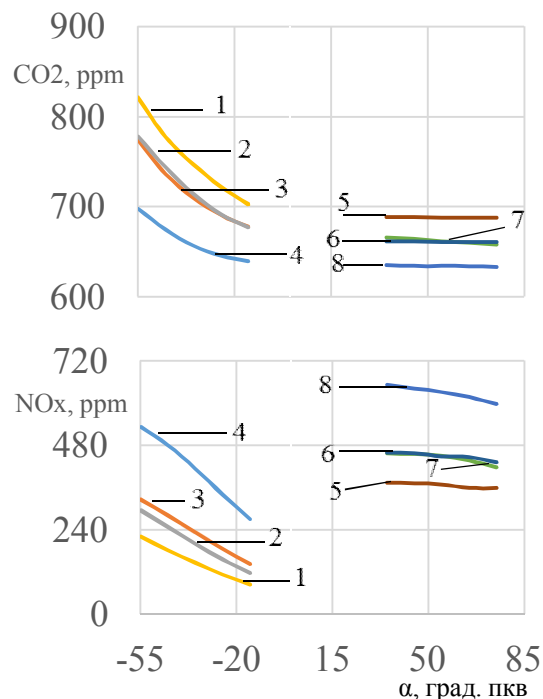


Рис. 3. Зависимости концентрации CO2 и выбросов NOx от угла закрытия впускных клапанов для разных частот вращения коленвала: цикл Миллера 1-1750 мин<sup>-1</sup>; 2-1500 мин<sup>-1</sup>; 3-1250 мин<sup>-1</sup>; 4-1000 мин<sup>-1</sup>; цикл Аткинсона 5-1750 мин<sup>-1</sup>; 6-1500 мин<sup>-1</sup>; 7-1250 мин<sup>-1</sup>; 8-1000 мин<sup>-1</sup>

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароглазов Б. А., Шишков В. В. Поршневые двигатели: теория, моделирование и расчет процессов; учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания». Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 525 с.
2. MAN Diesel. Technology for Ecology. Medium Speed Engines for Cleaner Air. (проспект фирмы MAN Diesel).
3. Колчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 2002. 496 с.
4. Хрипач Н. А., Лежнев Л. Ю., Пакин В. А., Сонкин В. И., Шустов Ф. А. Совершенствование бензинового двигателя с продолженным расширением рабочего тела // Тезисы докладов научно-технической конференции: Решение энергoэкологических проблем в автотранспортном комплексе. М.: МАДИ (ГТУ), 2011. С. 110-112.